

ЭПТ 2018



ACED 2018

УДК 621.3

МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ АВТОНОМНЫХ ГЕНЕРАТОРНЫХ КОМПЛЕКСОВ НА ОСНОВЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ.

MODELS AND ALGORITHMS OF DIAGNOSTICS OF AUTONOMOUS POWER GENERATING COMPLEXES BASED ON ALTERNATIVE SOURCES OF ENERGY.

Серебряков Артем Владимирович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Электрооборудование, электропривод и автоматика» Нижегородского Государственного Технического Университета им.Р.Е.Алексеева, Россия, 603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24. E-mail: serebryakov@ardman.ru

Титов Владимир Георгиевич, д-р. техн. наук, профессор «Электрооборудование, электропривод и автоматика» Нижегородского Государственного Технического Университета им.Р.Е.Алексеева, Россия, 603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24

Крюков Олег Викторович, д-р. техн. наук, доцент, главный специалист ОАО «Гипрогазцентр», Россия, 603000, г. Нижний Новгород, ул. Алексеевская, 19

Artem V.Serebryakov, Cand. Sc., Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E.Alexeev, 603950, Minina street, 19, Nizhny Novgorod, Russia. E-mail: serebryakov@ardman.ru.

Vladimir G.Titov, Doctor Sc., Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E.Alexeev, 603950, Minina street, 19, Nizhny Novgorod, Russia

Oleg V.Kryukov, Doctor Sc., JSC «Giprogazcentr», 603950, Alexeevskaya street, 19, Nizhny Novgorod, Russia

Аннотация: Предложена схема стабилизации выходного напряжения автономного генераторного комплекса (АГК) на основе альтернативных источников энергии (АИЭ). Представлены функциональная, математическая, логическая модель электромеханической части АГК. Разработан алгоритм диагностирования АГК на основе АИЭ, позволяющий обнаруживать неисправности элементов установки с заданной глубиной диагностирования.

Abstract: The circuit stabilize the output voltage of the autonomous power generating plant (AGK) based on alternative sources of energy (ASE) considered in the work. Functional, mathematical, logical model of the electromechanical part of AGK presented in the report. The algorithm of the diagnosis of AGK based on the ASE, which allows to detect malfunction of the elements of the installation at a given depth diagnostics developed by the authors.

Ключевые слова: диагностика; алгоритм; альтернативный источник энергии; автономный генераторный комплекс.

Key words: diagnosis; algorithm; alternative source of energy; autonomous power generating plant.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие российской промышленности и увеличение потребления электроэнергии со стороны населения стимулируют увеличение масштабов исследований, направленных на модернизацию энергетического комплекса РФ. Это приводит к поиску новых или развитию уже существующих более экономичных нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. Большая территория РФ с различными климатическими поясами и низкой плотностью населения обуславливают необходимость обеспечения энергией удаленных от центральных электросетей районов. Вместе с тем, в

отечественной и мировой электроэнергетике за многие годы накоплен достаточно большой опыт по созданию и использованию АГК на основе АИЭ. Исследования по созданию и совершенствованию возобновляемых и комбинированных источников энергии имеют высокие перспективы применения в настоящее время. В связи с этим, потребуется новая, или усовершенствованная система диагностики технического состояния существующего или создаваемого автономного генераторного комплекса (АГК) [1,2].

Россия обладает значительными и разнообразными возобновляемыми источниками

энергии: ветер, геотермальная энергия, гидроэнергетика, биомасса и солнечная энергия (рис.1). Практически все регионы имеют одну или несколько форм возобновляемых источников энергии, которые являются коммерчески доступными, а некоторые регионы богаты всеми видами возобновляемых источников энергии. Из-за географического размера, изменчивости климата и рельефа нашей страны тип используемой возобновляемой энергии значительно варьируется [3,4]. Это отличает Россию от многих стран, где преобладает одна потенциальная форма из-за однородности географических условий.



Рисунок 1. Потенциал возобновляемых источников энергии России

СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ АГК.

Принцип работы большинства альтернативных источников энергии состоит в установке различного вида колёс, турбин которые по средствам движения воздуха или воды приводят в движение ротор генератора [5]. Величина (амплитуда) напряжения и частота на зажимах статорной обмотки зависят от скорости вращения ротора, как следствие, при изменении электрической нагрузки синхронного генератора механическая нагрузка на валу агрегата также изменяется, что, в итоге, приводит к изменению скорости вращения ротора и, как следствие, к изменению величины напряжения и частоты [6].

Значимость анализа технического состояния электромеханической части АГК как объекта диагностирования заключается в исследовании функционирования исправного состояния системы, разбиением ее на отдельные части (элементы) электропривода, вывод параметров, которые характеризуют ее техническое состояние, пределы изменения технических возможностей установки, определение потенциальных мест,

причин, видов и периодичности появления неисправностей электропривода, беря во внимание затраты, вызванные при проведении элементарных проверок [7,8].

Существует 3 группы факторов, влияющих на надежность электромеханической части электропривода:

- 1) Качество изготовления и конструкция (не зависит от потребителя);
- 2) Условия эксплуатации (частично зависит от потребителя);
- 3) Обслуживание и ремонт (полностью зависят от потребителя).

Опираясь на статистику отказов при эксплуатации можно сделать вывод, что больше всего подвержен износу синхронный генератор, далее идет преобразователь частоты и система автоматического управления [9]. Целесообразно разрабатывать функциональную модель диагностирования, исходя постоянного контроля работы системы. При этом необходимо принять ряд допущений:

- 1) На каждый функциональный элемент может быть подано конечное количество входных сигналов и он может иметь только один выходной сигнал;
- 2) У каждого функционального узла модели есть конкретные зависимости и допустимые значения между выходными и входными сигналами;
- 3) Внешние входные сигналы функционального элемента могут принимать только допустимые значения;
- 4) Связи между функциональными узлами модели полностью надежны и соответствуют направленной взаимосвязи элементов принципиальной электрической или функциональной схемы объекта диагностирования;
- 5) При подаче на вход функционального элемента хотя бы одного недопустимого сигнала из числа входящих сигналов, на выходе будет недопустимый сигнал;
- 6) Функциональный элемент считается неисправным, если все сигналы на входе этого элемента находятся в допустимых пределах, а на выходе этого элемента появляется недопустимый сигнал.

Функциональная модель системы генератор-преобразователь частоты приведена на рисунке 2.

На основе разработанной функциональной модели, строится математическая (логическая) модель, где указывается заключение о техническом состоянии каждого элемента по результатам оценки значений его входных и

выходных сигналов вида "в допуске" (значение 1) – «не в допуске» (значение 0).

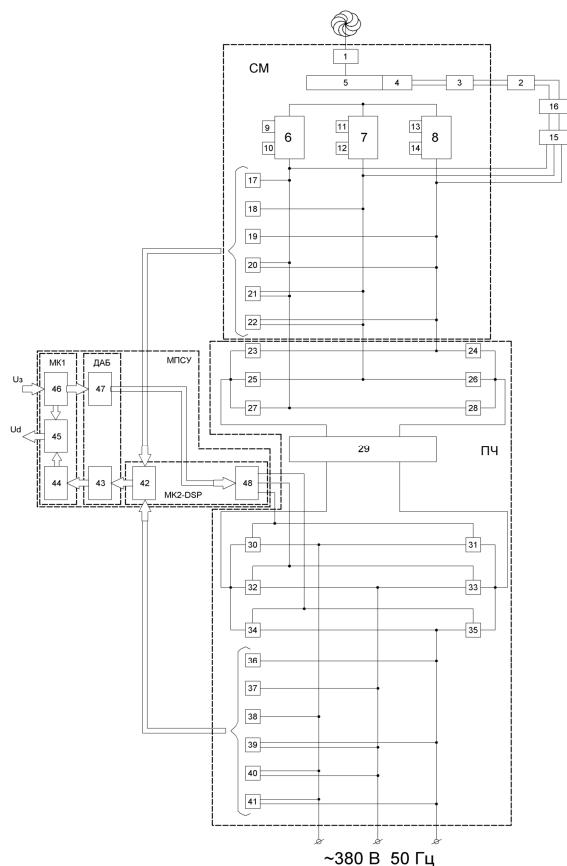


Рисунок 2. Функциональная модель электромеханической части АГК как объекта диагностирования;

где 1 – датчик скорости; 2 – источник питания обмотки возбуждения (ИПОБ); 3 – возбуждающее устройство (ВУ); 4 – щеточно-коллекторный аппарат (ЩКА); 5 – ротор СД; 6–8 – катушечные группы обмотки статора; 9–14 – датчики температуры меди и стали; 15 – зарядное устройство (ЗУ); 16 – аккумуляторная батарея (АКБ); 17–19 – трансформаторы напряжения; 20–22 – трансформаторы тока; 23–28 – модули выпрямителя; 29 – фильтр; 30–35 – модули инвертора; 36–38 – датчики тока; 39–41 – датчики напряжения.

Однако необходимость сопряжения между собой разнородных математических моделей вынуждает пользоваться более общими математическими описаниями электропривода как объекта диагностирования. Одно из таких описаний представление электропривода абстрактной динамической системой, функционирование которой состоит в изменении состояния системы под внешними и внутренними воздействиями. Математическая модель подобной системы может быть определена как взаимосвязь переменных: $T, X, Z, S, S_0, F^*, F, L^*, L$, где T – множество

моментов времени t ; X, Z – множества входных x и выходных z сигналов системы; S – множество состояний s системы; S_0 – замкнутая область состояний системы, ограничивающая возможные перемещения s в процессе функционирования системы; $F^*(T, X, S) = S_c^*$, $F(T, X, S) = S_c$ – операторы переходов, отражающие изменения состояния системы под действием внутренних и внешних возмущений; $L^*(T, X, S) = Z_c^*$, $L(T, X, S) = Z_c$ – операторы выходов, описывающие формирование выходного сигнала под действием внутренних и внешних возмущений. Индекс * принадлежит операторам, учитывающим действие внутренних возмущений [10].

Для распознавания технического состояния объекта диагностирования принято пользоваться набором классов технических состояний:

$$E = \{E_i\}, i = 0, 1, 2, \dots, N, \quad (1)$$

где E_i – подмножество технических состояний объекта, характеризующих совокупность возможных его состояний s_i с указанием соответствующих граничных условий (областей S_{0i}) и выполнимости этих условий по всем переменным состояниям s_i .

Предположим, что каждый i – й элемент объекта диагностирования выполняет лишь один алгоритм функционирования, а минимальная форма функции условия его работы состоит из одного члена конъюнкции внешних и внутренних переменных, т. е. имеет вид:

$$\Phi_i = (F_i * L_i) \wedge x_{i1} \wedge x_{i2} \wedge \dots \wedge x_{ik}, \quad (2)$$

где F_i, L_i – операторы переходов и выходов; * – знак взаимодействия операторов; x_{ik} – входные сигналы i -го элемента.

Фактическое значение выходного сигнала z_i i – го элемента логической модели будет зависеть от значения функции и его технического состояния E_i (1). Возможные наборы значений двоичных переменных и соответствующие им значения выходного сигнала:

$\Phi_i = 1$, если функция условий работы i – го элемента является конъюнкцией его входных сигналов, все значения которых допустимы (т. е. равны единице);

$\Phi_i = 0$, если функция условий работы i – го элемента является конъюнкцией его входных сигналов, не все значения которых допустимы;

$E_i = 1$, если i – й элемент является исправным;

$E_i = 0$, если i – элемент неисправен.

$$z_i = \Phi_i \wedge E_i. \quad (3)$$

Для получения логической (математической) модели объекта каждый его функциональный элемент заменяется логическим блоком, имеющим один выход и существенные для данного выхода входы [11]. Построение логической модели

производится непосредственно по функциональной схеме объекта диагностирования [12-14]. Логическая модель может быть представлена в виде графа. Вершины графа будут являться элементами (блоками) логической модели, а также ее входными и выходными сигналами, а дуги – связью между элементами (блоками) и внешними входными и выходными сигналами (рис.3)

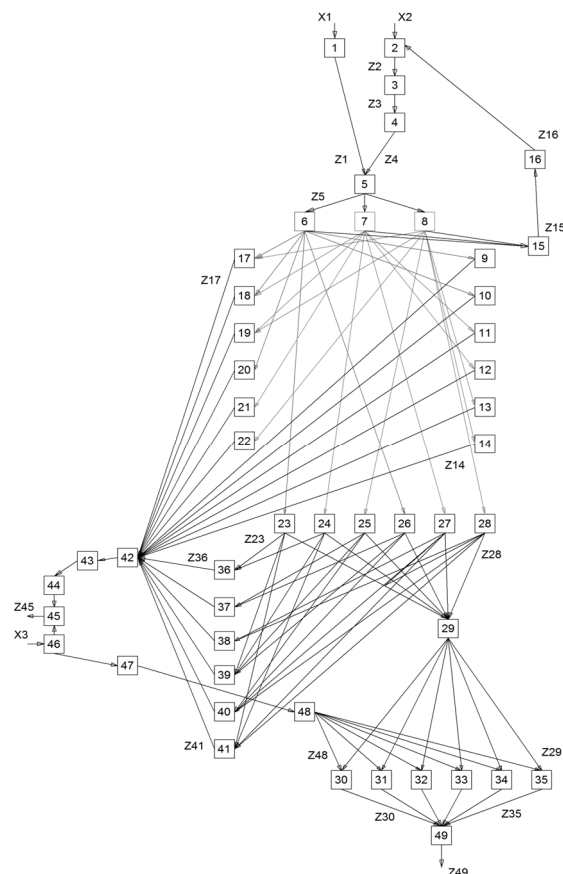


Рисунок 3. Логическая модель электромеханической части АГК,

где Z_n – выходные сигналы, $Z1$ – датчика скорости; $Z2$ – источника питания обмотки возбуждения (ИПОБ); $Z3$ – возбуждательного устройства (ВУ); $Z4$ – щеточно-коллекторного аппарата (ЩКА); $Z5$ – ротора СД; $Z6$ – $Z8$ – катушечных групп обмотки статора; $Z9$ – $Z14$ – датчика температуры меди и стали; $Z15$ – зарядного устройства (ЗУ); $Z16$ – аккумуляторной батареи (АКБ); $Z17$ – $Z19$ – трансформатора напряжения; $Z20$ – $Z22$ – трансформатора тока; $Z23$ – $Z28$ – модуля выпрямителя; $Z29$ – фильтра; $Z30$ – $Z35$ – модуля инвертора; $Z36$ – $Z38$ – датчика тока; $Z39$ – $Z41$ – датчика напряжения, $Z49$ – потребителя электроэнергии.

Входные и выходные сигналы объекта диагностирования представлены дугами (стрелками) с символами X и Z. Индекс i ,

соответствует номеру элемента на функциональной схеме. Соответствие внешних входных X и выходных Z сигналов, $X1=U_3$. На основании (1,2,3) и математической модели строится система уравнений состояния, состоящая из 49 уравнений. Далее строится таблица функций неисправностей для того, чтобы определить поведение объекта в исправном (e_0) и всех возможных неисправных состояниях (остальные столбцы).

При разделении объекта на N элементов при двухальтернативном исходе контроля для каждого из них множество отказов объектов диагностирования характеризует его как вероятностную систему с конечным множеством состояний равным числу отказавших его составных элементов, появление каждого из которых характеризуется вероятностью.

Метод половинного деления предполагает при N функциональных (логических) элементах с равными вероятностями технических состояний $p(e_i) = 1/N$ и равными ценами элементарных проверок принять первым тот контролируемый элемент, элементарная проверка которого несет максимум информации о состоянии объекта диагностирования. Поскольку неопределенность состояния объекта диагностирования до его проверки оценивается энтропией:

$$H_0 = - \sum_{i=1}^N p(e_i) \log_2 p(e_i) - \sum_{i=1}^N \log_2 \frac{1}{N} = \log_2 N_a, \quad (4)$$

то необходимо первым выполнить ту элементарную проверку Z_k , чтобы $H(Z_k) = H_0/2$ при положительном (1) и отрицательном (0) результатах оценки состояния K-го элемента, разбивает функциональную модель объекта диагностирования пополам. Проверка технических состояний оставшихся элементов осуществляется в произвольной последовательности, так как элементы имеют равную цену проверок. Аналогично в произвольной последовательности проверяются и те элементы, которые в оставшемся после деления подмножестве не связаны между собой, а их выходные сигналы поступают на вход одного и того же элемента объекта диагностирования.

При N функциональных элементах с равными ценами элементарных проверок и неравными вероятностями состояний $p(e_i)$ первым контролируемым элементом целесообразно применять тот, элементарная проверка которого делит объект диагностирования на части, вероятности состояний которых близки к 0.5, поскольку неопределенность состояния объекта после элементарной проверки Z_k :

$$H(Z_k) = - p_k \log_2 p_k - (1 - p_k) \log_2 (1 - p_k) \quad (5)$$

где $p_k = \sum_{i=1}^k p(e_i), k = 1, 2, \dots, N - 1$.

Величина $H(z_k)$ будет максимальной, если величина $|p_k - 0,5|$ минимальна. После проверки Z_k объект диагностирования разделяется на два множества, одно из которых содержит k элементов с суммой вероятностей состояний этих элементов $\sum_{i=1}^k p(e_i)$, а второе – $N - k$ элементов с $\sum_{i=k+1}^N p(e_i)$, причем $\sum_{i=1}^k p(e_i) \approx \sum_{i=k+1}^N p(e_i)$ и $\sum_{i=1}^k p(e_i) + \sum_{i=k+1}^N p(e_i) = 1$.

Подобное деление продолжается, пока не будет определено техническое состояние объекта диагностирования с заданной степенью глубины.

На рисунке 4 изображен алгоритм диагностирования, внутренние вершины графа представляют собой элементарные проверки (выходные координаты Z_i). Для удобства восприятия граф изображен в виде пронумерованных прямоугольников, номер каждого соответствует неисправности определенного элемента и линиями, которые отображают неисправное (0) и исправное (1) техническое состояние каждого элемента из вершин которого они выходят.

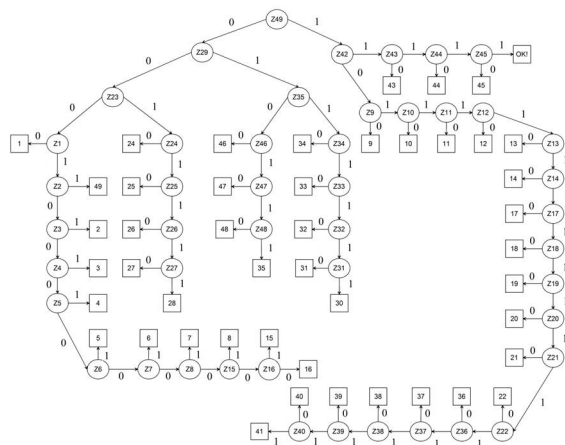


Рисунок 4. Алгоритм диагностирования
электромеханической части АГК.

где Z_1 – выходные сигналы, Z_1 – датчика скорости; Z_2 – источника питания обмотки возбуждения (ИПОБ); Z_3 – возбудительного устройства (ВУ); Z_4 – щеточно-коллекторного аппарата (ЩКА); Z_5 – ротора СД; Z_6 – Z_8 – катушечных групп обмотки статора; Z_9 – Z_{14} – датчика температуры меди и стали; Z_{15} – зарядного устройства (ЗУ); Z_{16} – аккумуляторной батареи (АКБ); Z_{17} – Z_{19} – трансформатора напряжения; Z_{20} – Z_{22} – трансформатора тока; Z_{23} – Z_{28} – модуля выпрямителя; Z_{29} – фильтра; Z_{30} – Z_{35} – модуля инвертора; Z_{36} – Z_{38} – датчика тока; Z_{39} – Z_{41} – датчика напряжения, Z_{49} – потребителя электроэнергии.

ВЫВОДЫ

Предложенная универсальная схема стабилизации выходных параметров электроэнергии, вырабатываемой различными альтернативными источниками энергии, применима к электромеханическим системам малых ГЭС, ветроэнергетических установок, приливных, волновых электростанций и целого ряда других альтернативных источников энергии, где используется вращение вала генератора для выработки электроэнергии. Полученная функциональная и математическая модель электромеханической части автономного источника энергии, позволяют установить зависимость и взаимовлияние между различными элементами системы. Предложенный алгоритм диагностирования позволяет выявить неисправность любого элемента установки с заданной глубиной диагностирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Онищенко Г.Б., Лазарев Г.Б. Развитие энергетики России. Направления инновационно-технологического развития. – М.: РСА, 2008. – 200с.
2. Концепция интеллектуальной электроэнергетической системы с активно-адаптивной сетью. Редакция 5.0 / Фортов В.Е., Макаров А.С., Шакарян Ю.Г. и др. – М.: ОАО «НТЦ Электроэнергетики», 2012. – 220с.
3. Лукьянов С.И. Разработка и внедрение интеллектуальных систем диагностирования технического состояния электрического оборудования / С.И. Лукьянов, А.С. Карандаев, А.С. Сарваров и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, 2014. №1(45). С. 129-134.
4. Барков А.В. Интеллектуальные системы мониторинга и диагностики машин по вибрации / Барков А.В., Баркова Н.А. // Труды Петербургского энергетического института повышения квалификации Минтопэнерго Российской Федерации и Института вибрации США. Вып. 9. Санкт-Петербург, 1999.
5. Крюков О.В. Интеллектуальные ветроэнергетические установки для автономных систем электроснабжения/А.В. Серебряков, О.В. Крюков. - Нижний Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2014. -135 с.
6. Васенин А.Б. Диагностика электромеханической части ветроэнергетических установок

- //Електромеханічні І енергозберігаючі системи. -2012. -№3(19). -С. 549-552.
7. Титов В.Г. Дифференцирование нагрузки в системах электроснабжения автономных потребителей/ Титов В.Г., Чернов Е.А., Шахов А.В. //Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2015. № 2 (109). С. 203-209.
 8. Серебряков А.В. Энергоэффективные ветроэнергетические установки с оперативной диагностикой для автономных систем электроснабжения: дис. канд. техн. наук. - Иваново, 2013. - 171 с.
 9. Kryukov O.V., Serebryakov A.V. Artificial neural networks of technical state prediction of gas compressor units electric motors // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2016. Т. 16. № 1. С. 66-74.
 10. Серебряков А.В. Мониторинг электромеханической части ветроэнергетических установок // Главный энергетик. 2013. № 2. С. 32-37.
 11. Серебряков А.В., Крюков О.В. Универсальная система мониторинга электродвигателей газоперекачивающих агрегатов // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2016. № 4 (546). С. 74-81.
 12. Крюков О.В. Методы синтеза встроенных систем прогнозирования технического состояния высоковольтных двигателей / О.В. Крюков, А.В. Серебряков // Состояние и перспективы развития электро-и теплотехнологии: материалы МНТК: XVIII Бенардосовские чтения. - Иваново, 2015. -С. 69-73.
 13. Стеклов А.С., Определение степени работоспособности судовых синхронных генераторов с применением искусственных нейро-нечетких сетей / А.С. Стеклов, В.Г. Титов, А.В. Серебряков//Вестник Чувашского университета. 2016. № 1. С. 97-104.
 14. Серебряков А.В. К вопросу диагностики технического состояния альтернативных источников энергии // Труды НГТУ им.Р.Е.Алексеева. 2016. №4. С.85-90